УДК 631.362.3

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФРАКЦІЮВАННЯ НАСІННЄВИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА КОМПЛЕКСОМ АЕРОДИНАМІЧНИХ І ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Б. І. Котов, доктор технічних наук, професор

Ю. І. Панцир, кандидат технічних наук, доцент

І. Д. Герасимчук, кандидат технічних наук, доцент

Подільський державний аграрно-технічний університет,

С. П. Степаненко, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

e-mail: panziryuriy@gmail.com

Анотація. *На основі проведеного аналізу існуючих технологій сепарації насіннєвого матеріалу запропоновано для підвищення ефективності процесу поділу насіння на фракції використовувати електростатичне поле коронного розряду для попереднього розділення компонентів насіннєвої суміші за електричними властивостями. На другому етапі використовується повітряний потік. Відповідно до прийнятої технології сформульовані математичні моделі руху компонентів в електрокоронному сепараторі барабанного типу який використовують як живильник повітряного сепаратора. Для опису руху компонентів зернового матеріалу в повітряному потоці використано типові рівняння, що описують рух частинки в середовищі з опором. Запропоновані спрощені формули для наближеного розрахунку траєкторії руху.*

Ключові слова: ***зерно, фракціювання, електростатичне поле, коронний розряд, повітряний потік***

Актуальність. Збільшення урожайності зернових культур, шляхом підвищення якості насіннєвого матеріалу є актуальним завданням. Одним із напрямків його вирішення є подальше вдосконалення технологій і обладнання для поділу зернового матеріалу на фракції найбільш цінною з яких є насіннєва. Найбільш прості і розповсюджені пневматичні сепаратори дозволяють здійснювати поділ за аеродинамічними властивостями, які найбільш тісно корелюють з показниками якості насіння (розмір, вага). Але видалення

«бракованої» частини насіння, що має номінальні аеродинамічні характеристики залишається невирішеною проблемою. Одним із перспективних шляхів її вирішення є застосування електротехнологій.

Застосування додаткового впливу електричного поля дозволяє шляхом дообладнання зерносепараторів електричними робочими органами, реалізувати поділ зернового матеріалу і за електричними властивостями, що значно підвищить якість насіннєвого матеріалу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині розроблено високоєфективні машини для очищення і сепарації зерна повітряними потоками [1-3]; у вертикальних [2], нахилених [3] і горизонтальних каналах [4]. Питання застосування електричного поля для сепарації насіннєвих сумішей висвітлені в роботах [5-7]. При цьому виявлено залежність електричних властивостей зерна від біологічного стану (біологічна активність). Аналізом встановлено, що використовуючи електростатичне поле і різницю електричних і механічних властивостей частинок зернової суміші, можна створити принципово нову технологію аеродинамічного поділу в пневмосепараторах. Для виявлення доцільності поєднання пневматичних і електричних робочих органів необхідно теоретично визначити закономірності переміщення компонентів в аеродинамічному і електричному полі.

Мета дослідження – створення математичного опису процесів руху компонентів матеріалу в повітряному потоці при дії електричного поля коронного розряду.

Матеріали і методи дослідження. Використовується аналітично-розрахунковий метод опису переміщення частинки на електроді в полі коронного розряду і повітряному потоці, який не пов'язаний з конкретизацією параметрів елементів конструкції машин.

Результати досліджень та їх обговорення. Принципова схема розділення компонентів зернового матеріалу в повітряному потоці при розділені в електростатичному полі перед подачею в повітряному потік наведено на рисунку.

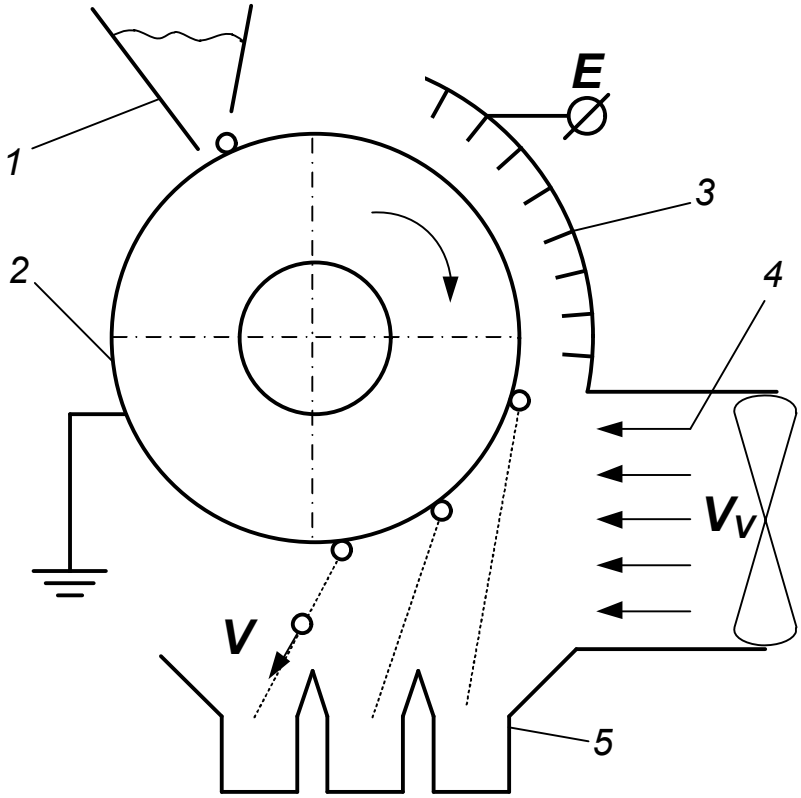

Рис. Принципова схема розділення зерна в електричному і повітряному полі:

1 – бункер з насінням; 2 – барабанний електрод;

3 – коронуючий електрод; 4 – повітряний потік; 5 – приймальні комірки

Рівняння руху частинки по зовнішній поверхні барабану визначимо з таких посилань: частинка знаходиться на поверхні обертового барабану в покої або може переміщуватись вздовж поверхні, що залежить від стану поверхні і властивостей матеріалу частинки. На частинку в зоні електричного поля коронного розряду діють такі сили:

тяжіння: $P = mg$;

відцентрова: $c_n = \dfrac{mV_a^2}{r} = m\omega^2 r$;

сила тертя: $F_m = Nf = Ntg\varphi$;

нормальна реакція поверхні: N;

електричного поля: $F_e = \dfrac{\varepsilon E^2 ab}{4k_f}\mu(R)$;

електрична сила дзеркального відбивання: $F_z = \dfrac{\varepsilon_0 E^2 a^2}{4k_f^2}\mu^2(R)$;

де m – маса частинки; V_a – колова швидкість частинки при її абсолютному русі; ω – кутова швидкість частинки навколо вісі барабану; r – радіус барабану; f, φ – коефіцієнт і кут тертя; ε_r – відносна діелектрична проникність речовини зернини; E – напруженість поля; a, b – розміри частинки у формі еліпсоїда; $b/a = k$ – коефіцієнт сферичності; $k_f = (1 + (\varepsilon_r - 1)\Phi_1)(\varepsilon_r)^{-1}$ – діелектричний коефіцієнт форми; Φ_1 – коефіцієнт осьової деполяризації $\Phi_1(k)$.

Величина функції $\mu(R)$ визначається із співвідношення [7]:

$$\mu(R) = \frac{1 + 2R_r c\delta k - \sqrt{1 + 4r_0 c\delta k}}{2R_r c\delta k},$$

де c – ємність системи «частинка – електрод»; r_0 – радіус електрода (коронуючого); δ – об'ємний заряд; R_r – контактний опір (опір самої частинки і контакту між нею і барабаном).

Проектуючи сили на координатній осі x', y' рухомої системи координат отримаємо рівняння рівноваги частинки на поверхні обертального барабану:

$$N + c - F - F_z - mg\cos\alpha_0 = 0, \tag{1}$$

$$N_f + mg\cos\alpha_0 = 0, \tag{2}$$

де R_v – сила опору повітря.

З рівняння (1) визначимо силу нормальної реакції:

$$N = F + F_z + mg\cos\alpha_0 - c_n. \tag{3}$$

При певних умовах частинка втрачає зв'язок з поверхнею барабану і відривається від неї. За умовами $N = 0$ частинка відірветься від поверхні і буде рухатись в повітряному середовищі як тіло, кинуте під кутом α_0 до горизонту зі швидкістю V_0.

З рівняння (3) маємо:

$$\cos\alpha_0 = \frac{-F - F_3 + c_n}{mg}. \tag{4}$$

Підставляючи значення діючих сил і враховуючи що [7]: $m = \frac{\pi}{6} ab^2 \rho_r = \frac{\pi}{6} a^2 bk\rho_r$ отримаємо:

$$\cos\alpha_0 = \frac{V_a^2}{rg} - \frac{3}{2}\frac{\varepsilon E^2 \mu(R)}{\pi g b \rho_r k_f}\left[1 - \frac{\mu(R)}{k_f k}\right] = M. \tag{5}$$

Якщо прийняти, що швидкість руху частинки V_a розмір барабану r і напруженість електричного поля E є незмінними величинами, що не впливають на властивості частинки, то ступінь поділу компонентів в процесі сходження з барабану визначається величиною:

$$k_{nd} = \left[1 + \frac{\mu(R)}{kk_f}\right]\mu(R)\frac{1}{b\rho k_f}, \tag{6}$$

де b – менша вісь еліпсоїда обертання (для різних компонентів зернового матеріалу різна).

Кут відриву частинок визначається з очевидного співвідношення:

$$\alpha_0 = \arccos M. \tag{7}$$

При відсутності рухомого потоку повітря траєкторії руху частинок компонентів можна визначити за законом падіння тіла кинутого під кутом α_0 до горизонту зі швидкістю V_a [7], з формули:

$$y = xtg\alpha_0 + \frac{gx^2}{2V_a^2 \cos\alpha_i}, \tag{8}$$

де α_i – кут сходження і-го компоненту.

Як випливає з аналізу досліджень різних авторів узагальнених в роботі [7] найбільше розгалуження траєкторій досягається при різних значеннях комплексного параметра μ (тобто різних властивостей компонентів). Для збільшення ефективності подальшого поділу доцільно використовувати рухоме повітряне середовище–горизонтальний потік повітря із швидкістю V_n.

Рух компонентів зернового матеріалу в горизонтальному потоці повітря після сходження з поверхні барабану описується системою диференціальних рівнянь (в нерухомій системі координат X0Y, де 0X – горизонтальна, 0Y – вертикальна вісі):

$$\ddot{x} + k_n(\dot{x} - V_n)\sqrt{(\dot{x} - V_n)^2 + \dot{y}^2} = 0\,; \tag{9}$$

$$\ddot{y} + k_n \dot{y}\sqrt{(\dot{x} - V_n)^2 + \dot{y}^2} = g\,; \tag{10}$$

де V_n – швидкість повітряного потоку; g – прискорення сил тяжіння; $\dot{x} = \dfrac{dx}{d\tau}$; $\dot{y} = \dfrac{dy}{d\tau}$; $\ddot{x} = \dfrac{d^2x}{d\tau^2}$; $\ddot{y} = \dfrac{d^2y}{d\tau^2}$.

При початкових умовах: $\tau = 0$; $x = 0$; $y = 0$: $\dot{x} = V_a \cos\alpha_0$; $\dot{y} = V_a \sin\alpha_0$ (V_a, α_0 – швидкість і кут напрямку входження частинки в повітряний потік дорівнює параметрам сходження частинки з барабану).

При використанні спрощуючого припущення [4, 8]:

$$k_0 = \sqrt{\left(\frac{\dot{y}}{V_n}\right)^2 + \left(1 - \frac{\dot{x}}{V_n}\right)^2} \approx 1.02\ldots1.12\,. \tag{11}$$

Траєкторії руху компонентів насіннєвого матеріалу можна наближено визначити з розв'язку рівнянь (9) і (10) (при використанні умови 11) за наступними розрахунковими залежностями:

$$V_x(\tau) = V - (V - V_{x0})e^{-\frac{\tau}{k_0}}, \tag{12}$$

$$x(\tau) = V\tau - k_0(V - V_{0x})\left(1 - e^{-\frac{\tau}{k_0}}\right), \tag{13}$$

$$V_y(\tau) = g_0 - (g_0 - V_{y0})e^{-\frac{\tau}{k_0}}, \tag{14}$$

$$y(\tau) = g_0\tau - k_0(g_0 - V_{0y})\left(1 - e^{-\frac{\tau}{k_0}}\right), \tag{15}$$

де $k_0 = 1.1k_nV$; $g_0 = \dfrac{g}{1.1k_nV}$; $V_{0x} = V_a \cos\alpha_0$; $V_{0y} = V_a \sin\alpha_0$.

Кожному поточному моменту часу τ_i відповідають координати переміщення частки $x_i(\tau_i)$, $y_i(\tau_i)$ і визначаючи їх значення будується траєкторія руху в координатах $x_i(y_i)$ системи координат X0Y.

Висновки і перспективи.

1. Поєднання процесів поділу компонентів насіннєвих матеріалів за комплексом електродинамічних і аеродинамічних властивостей дозволить значно покращити якість насіннєвого матеріалу «шляхом» видалення із фракцій неповноцінних зернин.

2. Підвищення якості поділу досягається також тим, що кожний компонент суміші вводиться в потік повітря під різним кутом і різною швидкістю.

3. Отримані спрощені математичні формули дозволяють проаналізувати процеси руху і поділу компонентів вже на стадії проектування нового обладнання і виявити раціональні параметри і режими роботи.

Список літератури

1. Бурков А. И. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование расчет и испытание / А. И. Бурков, Н. П. Сычугов. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. – 261 с.

2. Колодій О. С. Обґрунтування конструктивно - технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника / О. С. Колодій // Автореф. дис. канд. техн. наук. – Мелітополь: ТАДУ, 2015. – 23 с.

3. Бакум М. В. До обґрунтування ефективності використання пневматичного сепаратора з нахиленим повітряним каналом для попередньої сепарації насіннєвої суміші петрушки / М. В. Бакум, М. М. Крекот, М. М. Абдуев та інш. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. М. Василенка. – 2010. – Вип. 103. – С. 267–274.

4. Котов Б. І. Підвищення ефективності сепарації зернових сумішей використанням протитечієвої подачі матеріалу в горизонтальний повітряний потік / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, І. С. Понадюк // Техніка, енергетика, транспорт АПК, 2016. – Вип. 3. – С. 121–125.

5. Іноземцев Г. Б. Електросепарування насіннєвих сумішей та електростимуляція посівного матеріалу / Г. Б. Іноземцев, В. О. Паранюк // Праці ТДАТУ. 2008. – Вип. 8 (2). – С. 56–63.

6. Ковалишин С. Й. Електронна насіннєобробна машина барабанного типу для дрібнонасіннєвих сумішей / С. Й. Ковалишин, В. В. Соколюк // Вісник ХНТУСГ. 2014. – Вип. 144. – С. 60–65.

7. Электроочистные машины. Под. ред. А. М. Басова. – М.: Машиностроение. 1967. – 201 с.

8. Гортинский В. В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В. В. Гортинский, А. Б. Демский, М. А. Борискин. – М.: Колос. – 1980. – 304 с.

References

1. Burkov, A. I., Sychugov, N. P. (2000). Zernoochistitel'nyye mashiny. Konstruktsiya, issledovaniye raschet i ispytaniye [Grain-cleaning machines. Design, study calculation and test]. Kirov: NIISKH Severo-Vostoka, 261.

2. Kolodii, O. S. (2015). Obgruntuvannia konstruktyvno - tekhnolohichnykh parametriv pnevmohravitatsiinoho separatora nasinnia soniashnyka [Substantiation of structural and technological parameters of a pneumogravitational separator of sunflower seeds]. Melitopol, 23.

3. Bakum, M. V., Krekot, M. M., Abduev, M. M. and etc. (2010). Do obgruntuvannia efektyvnosti vykorystannia pnevmatychnoho separatora z nakhylenym povitrianym kanalom dlia poperednoi separatsii nasinnievoi sumishi petrushky [To substantiate the efficiency of using a pneumatic separator with a tilted air channel for preliminary separation of a seed mixture of parsley]. Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after. P. M. Vasilenko, 103, 267–274.

4. Kotov, B. I., Stepanenko, S. P., Ponadiuk, I. S. (2016). Pidvyshchennia efektyvnosti separatsii zernovykh sumishei vykorystanniam protytechiievoi podachi materialu v horyzontalnyi povitrianyi potik [Improvement of the efficiency of separation of grain mixtures with the use of counterproduction of material in a horizontal air stream]. Engineering, energy, transport of agrarian and industrial complex, 3, 121–125.

5. Inozemtsev, G. B., Paraniuk, V. O. (2008) Elektroseparuvannia nasinnievykh sumishei ta elektrostymuliatsiia posivnoho materialu [Electrical parsing of seed mixtures and electrostimulation of sowing material]. Proceedings of TDATU, 8 (2), 56–63.

6. Kovalyshyn, S. Y., Sokoliuk, V. V. (2014) Elektronna nasinnieobrobna mashyna barabannoho typu dlia dribnonasinnievykh sumishei [Electronic seed-processing machine of the drum type for small-seed mixtures]. Bulletin of the KhNTUSG, 144, 60–65.

7. Basova, A. M. ed. (1967) Elektroochistnyye mashiny [Electro-cleaning machines]. Moscow: Mashinostroyeniye, 201.

8. Gortinskiy, V. V., Demskiy, A. B., Boriskin, M. A. (1980) Protsessy separirovaniya na zernopererabatyvayushchikh predpriyatiyakh [Separation processes at grain processing enterprises]. Moscow: Kolos, 304.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА ПО КОМПЛЕКСУ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Б. И. Котов, Ю. И. Панцирь, И. Д. Герасимчук, С. П. Степаненко

Аннотация. *На основе проведенного анализа существующих технологий сепарации семенного материала предложено для повышения эффективности процесса разделения семян на фракции использовать электростатическое поле коронного разряда для предварительного разделения компонентов семенной смеси с электрическими свойствами. На втором этапе используется воздушный поток. Согласно принятой технологии сформулированы математические модели движения компонентов в электрокоронном сепараторе барабанного типа, используемого как питатель воздушного сепаратора. Для описания движения компонентов зернового материала в воздушном потоке использованы типичные уравнения, описывающие движение частицы в среде с сопротивлением. Предложены упрощенные формулы для приближенного расчета траектории движения.*

Ключевые слова: ***зерно, фракционирование, электростатическое поле, коронный разряд, воздушный поток***

ENHANCEMENT OF EFFICIENCY OF FRAGMENT OF SUSPENSION MATERIALS UNDER THE AERODYNAMIC AND ELECTRICAL PROPERTIES COMPLEX

B. Kotov, Yu. Pantsyr, I. Gerasimchuk, S. Stepanenko

Abstract. *On the basis of the analysis of existing seed separation technologies, it is proposed to use an electrostatic field of corona discharge for preliminary separation of the components of the seed mixture by electrical properties in order to increase the efficiency of the seed separation process on the fraction. At the second stage, air flow is used. In accordance with the adopted technology, the mathematical models of component movement in the electro-coronal drum type separator are used as a feeder of the air separator. Typical equations describing the motion of particles in a medium with resistance are used to describe the motion of grain material components in the air flow. Proposed simplified formulas for the approximate calculation of the trajectory of motion.*

Keywords: ***grain, fractionation, electrostatic field, corona discharge, air flow***